



ISSN 0122-0594

Sika Informaciones Técnicas  
**El concreto de hoy**



# El concreto de hoy

Escribir en pleno siglo XXI sobre el concreto parecería a primera vista una labor inútil. Qué se podrá decir sobre ese material que sea nuevo? Qué querrá saber un constructor de un material que basta con tomar el teléfono y pedirlo, como si fuera pizza?

Sin embargo hoy, más que nunca, vale la pena volver a hablar de este material, porque mucho ha cambiado en los últimos años y hay que saberlo, para volverlo a entender, para usarlo convenientemente y, en últimas, para evitar ciertos problemas evitables y que ocurren, simple y llanamente, por que ya no sabemos de concreto.

Millones de obras, miles de kilómetros de puentes y de vías, cientos de pisos de estructuras de concreto, nos recuerdan día a día que después del agua nada se usa sobre la tierra como el concreto, sin embargo hay muchas cosas en la tecnología del concreto que se dieron a conocer hace más de 100 años y que aún hoy no las sabemos. Y es por que a pesar de que el concreto es el material del día a día en las obras, hemos dejado de lado su estudio, más aún hemos dejado de lado el material, basándonos en que con sólo hablar de la resistencia (a cierta edad), del número de metros cúbicos que la obra requiere y del sistema que emplearemos para colocarlo, es suficiente para obtener lo que la obra y la estructura necesitan.

El concreto como hoy en día lo conocemos no habría nacido sin el cemento, ya que en cierta manera lo demás son piedras y agua. Es el cementante, ese material ligante de características tan asombrosas, que patentó Joseph Aspdin en Octubre de 1824, el que hizo posible el milagro.

El cemento una vez se hidrata (y esto no es un juego, hay que hidratarlo bien y evitar que se reseque) toma la forma de una pasta. Si ponemos poca agua esta pasta es dura y si ponemos mucha agua se torna líquida. La pasta va envolviendo los agregados para que no se rocen entre ellos, para darle movilidad a la mezcla, que sin la pasta no sería más que arrumes de piedras que nunca se unirían para formar una estructura.



Foto No.1 Pasta de cemento con exceso de agua (lechada)

Hay que tener cuidado. Un exceso de agua, aunque da lugar a una gran cantidad de pasta que brinda muy buena lubricación y ayuda a la colocación del concreto, luego se evapora dejando una maraña de vacíos en la matriz del material que causará la pérdida de buena parte de la resistencia y que, además, lo hará permeable. Nada bueno para un tanque, por ejemplo.

Pasado algún tiempo, que depende, entre otras cosas, del tipo de cemento y del clima, la pasta al volverse más viscosa fragua, ya no es posible vibrarla sin deteriorarla; un par de horas más tarde se presentará el fraguado final, que nos anuncia que el concreto está listo para empezar a generar resistencia, la cual será evaluada a los 28 días, normalmente, para saber si no hubo algún error de diseño, de elaboración o de curado.

El concreto, en si, no ha variado mucho desde aquella primera vez (por allá en 1850) en que se unió al acero de refuerzo para hacer las primeras estructuras, empezaban ya a ser conscientes los constructores de la baja resistencia a la tensión del material y de la importancia del refuerzo. El concreto sigue confeccionándose hoy en día con las mismas materias primas, esas que se consiguen en casi todo el mundo y que han hecho la elaboración del concreto casi un juego de niños.

Foto No.2 Primera estructura de concreto de cemento Pórtland. Faro de Eddystone, John Smeaton, 1882.

## La hidratación del cemento y el desarrollo de resistencia

Tres gráficos pueden mostrarnos cosas interesantes de la manera como se desarrollan ciertas propiedades del concreto, tales como la resistencia mecánica.

El primero es un gráfico que muestra el desarrollo de resistencia con tres tipos diferentes de cemento.

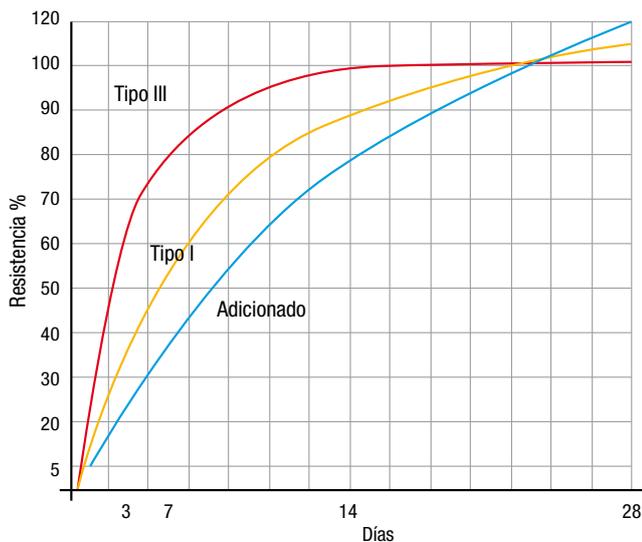


Gráfico No. 1: Curvas de desarrollo de resistencia para concreto elaborados con diferentes tipos de cementante.

El segundo es el desarrollo de resistencia de tres concretos de igual composición (el mismo cementante y la misma proporción de materiales) pero uno con un aditivo acelerante, el otro sin aditivo y el tercero con un aditivo retardador.

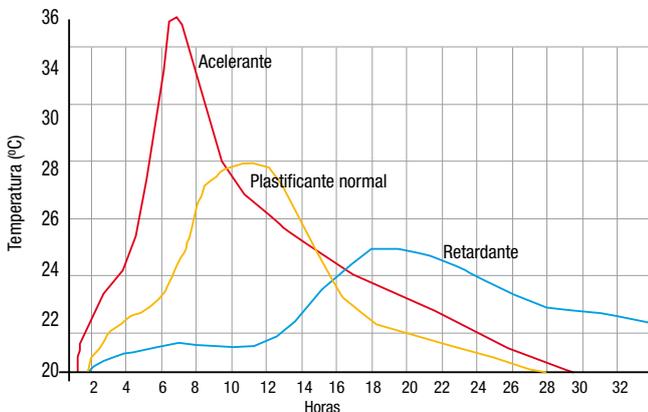


Gráfico No. 2: Desarrollo del calor de hidratación y picos de temperatura máximos de tres mezclas con distintos aditivos.

El tercero es un gráfico de generación de calor de tres mezclas elaboradas con los cementos del primer gráfico.

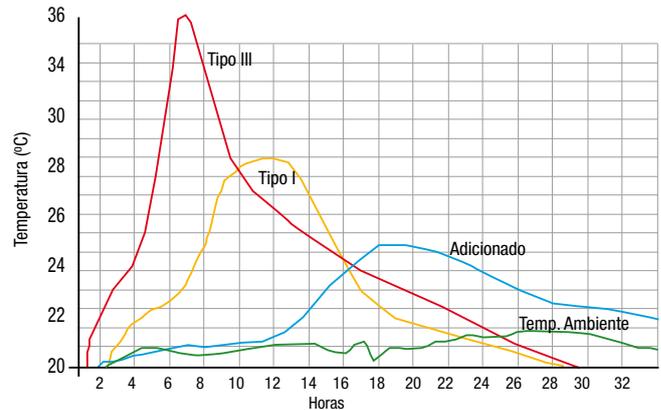


Gráfico No. 3: Desarrollo del calor de hidratación y picos de temperatura para mezclas elaboradas con distintos cementantes.

Esto nos lleva a un primer hallazgo importante:

**A mayor calor generado por la estructura a temprana edad mayor la resistencia inicial del concreto!**

Esto conduce a cuatro consideraciones de importancia para el constructor:

1. Arrojar el concreto en su primera etapa, para que no pierda calor, conduce a una mayor resistencia inicial (muy útil para los que prefabrican con concreto)
2. Medir el calor generado por el concreto en su primera edad nos puede informar de la resistencia que vamos obteniendo (Método de madurez).
3. Entre mayores sean las dimensiones de un elemento más calor guardarán, de ahí que sea importante no exponerlo al frío, se puede agrietar debido al gradiente de temperatura. (primera regla del curado en clima frío).
4. La cuarta consideración es consecuencia de la tercera: debemos cuidar que no se genere mucho calor en estructuras masivas, principalmente cuando el ambiente exterior sea muy frío, se puede agrietar el concreto (primera regla de la construcción de estructuras masivas).

# El concreto de hoy

## Influencia de la temperatura en el desarrollo de resistencia de los concretos

Mezclas muy frías demoran en aportar resistencia inicial, pero terminan muy bien. Mezclas calientes generan resistencia muy rápido, pero se pasan al final. Lo podemos ver en las siguientes gráficas que muestran, la primera el desarrollo de resistencia inicial y la segunda la resistencia final alcanzada.

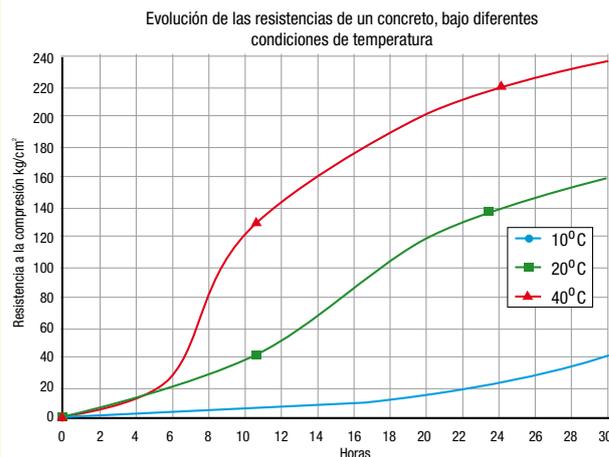


Gráfico No. 4: Resistencias a temprana edad de una misma mezcla expuesta a diferentes temperaturas ambiente.

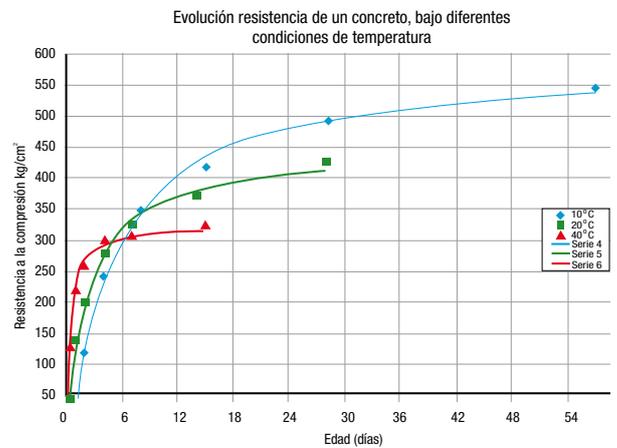


Gráfico No. 5: Evolución de la resistencia final de una misma mezcla expuesta a diferentes temperaturas ambiente.

Se concluye, a primera vista, que la mejor temperatura para hacer estructuras de concreto es aquella cercana a los 20°C.

Por otra parte hace ya bastantes años los investigadores descubrieron que la resistencia de un concreto (en especial para los hechos con cemento Pórtland) guarda cierta proporcionalidad con el historial de temperatura que genera el cementante al hidratarse. En la medida que se genere más calor en la mezcla, durante mayor tiempo, mayor será la resistencia alcanzada por el concreto.

## Método de la Madurez del concreto

El método de la Madurez es una técnica que permite predecir la resistencia del concreto durante el período de curado. Se basa este método en ir midiendo la temperatura de la mezcla e ir la graficando contra el tiempo. Al producto de la temperatura por el tiempo se le conoce como Índice de madurez. Si paralelamente con las medidas de madurez voy midiendo la resistencia a compresión del concreto, puedo establecer una correlación entre ambas medidas para hacer predicciones con sólo medir temperatura.

Esto es muy útil, por ejemplo, cuando se trata de cargar a muy temprana edad un elemento estructural. Puedo ir midiendo la temperatura que va generando la estructura, generalmente mayor que la que se mide en una probeta por el efecto de escala y de masa, y cuando logremos cierta madurez sabremos que la estructura ha conseguido cierto nivel de resistencia.

Por supuesto lo mejor sería poder extraer de la estructura una muestra de concreto en cada momento e ir midiendo su resistencia, así estaríamos plenamente seguros cuando obtengamos la resistencia que requerimos.

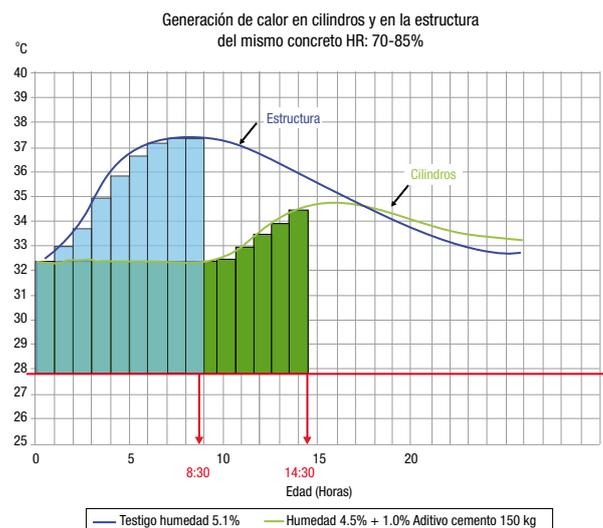


Gráfico No. 6: Madurez de una misma mezcla en la estructura y en cilindros

Esto lo han intentado los investigadores de varias maneras. Unos dejan embebidas en la mezcla de concreto cilindros en camisas especialmente diseñadas para facilitar la extracción. (Ver foto No. 3)



Foto No.3 Probetas de concreto de fácil extracción para el monitoreo de la ganancia de resistencia de una mezcla en particular.

Otro método, más elaborado es el de “seguimiento térmico” en el cual se instalan, en la estructura real, termopares que van leyendo la temperatura que desarrolla el concreto y luego el equipo va calentando, con el mismo



historial de temperatura, cilindros de concreto hechos con la misma mezcla, así podemos fallar probetas, cada cierto número de horas, como si las hubiéramos “retirado de la estructura”.

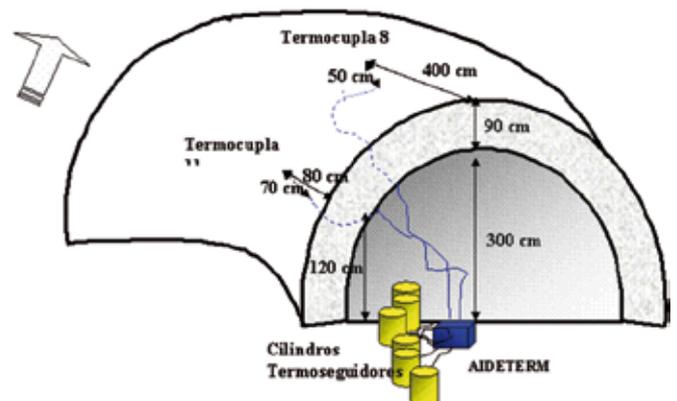


Foto No.4: Pruebas en obra con el equipo de “seguimiento térmico” para resolver problemas en la obtención de la resistencia inicial adecuada para descimbrar.



Un uso interesante de este tipo de tecnología se da en el monitoreo y solución de problemas en construcciones con sistemas industrializados (Outinord, Contech),

Por ejemplo cuando se tiene problemas para desencofrar a temprana edad, particularmente en clima frío, la técnica permite estudiar la problemática particular de la obra, definir si son las condiciones climáticas que no permiten generar mayor resistencia a temprana edad y decidir modificaciones al diseño de la mezcla para acelerar la ganancia de resistencia.



# El concreto de hoy

## Cómo obtener alta resistencia inicial sin afectar la durabilidad de la estructura

La industria de la construcción ha acelerado el ritmo en los últimos años de una manera sorprendente. Las épocas en que se podía esperar 15 días para quitar parales y camillas a una losa de concreto recién elaborada quedaron atrás. De igual manera la elaboración de losas de concreto para bodegas, centros comerciales, pavimentos de vías, demanda hoy en día, una más rápida puesta en uso. Para no hablar de los casos de reparación de vías donde se trabaja en la noche, pero hay que abrirlas al tráfico al salir el sol.

Los concretos tienen una curva característica de desarrollo de resistencia. Generalmente se esperaba, hace unos años, aproximadamente un 30%-40% de la resistencia final a los 3 días, un 70%-80% a los 7 días y el 100% a los 28. Con el incremento actual de la cuantía de adición a los cementos y a los concretos, el arranque en

la generación de resistencia se ha visto retrasado. Esto ha obligado a modificar los cementos, para que la parte correspondiente al cemento Portland brinde mayor resistencia inicial y cubija el bajón debido al porcentaje de adición, la cual requiere tiempo hasta aportar resistencia. Otra solución ha sido introducir acelerantes en los aditivos plastificantes para que le den un impulso inicial al concreto y mejore su desempeño en resistencia en los primeros tres días.

La técnica actual permite elaborar, sin un sobre costo exagerado y sin crear problemáticas de durabilidad, concretos que a las 24 horas tienen la resistencia que otros generan a los 28 días.

Miremos el siguiente cuadro que muestra las fases por las cuales pasa un concreto desde su mezcla hasta endurecer:

Fase	Características del concreto	Duración de la fase a 20°C	Trabajabilidad	Desarrollo de resistencias
0	Concreto fresco	Recién mezclado	Buena	Nulo
1	Concreto sin fraguar	0 a 20 min.	Aún manejable	Nulo
2	Concreto joven	1/2 a 2 horas	No es posible ya vibrar	Desarrollo de resistencias iniciales
3	Concreto endurecido	Después de 1 día	Ninguna	Desarrollo considerable

La gráfica siguiente representa las acciones a tomar en el concreto para obtener alta resistencia inicial:

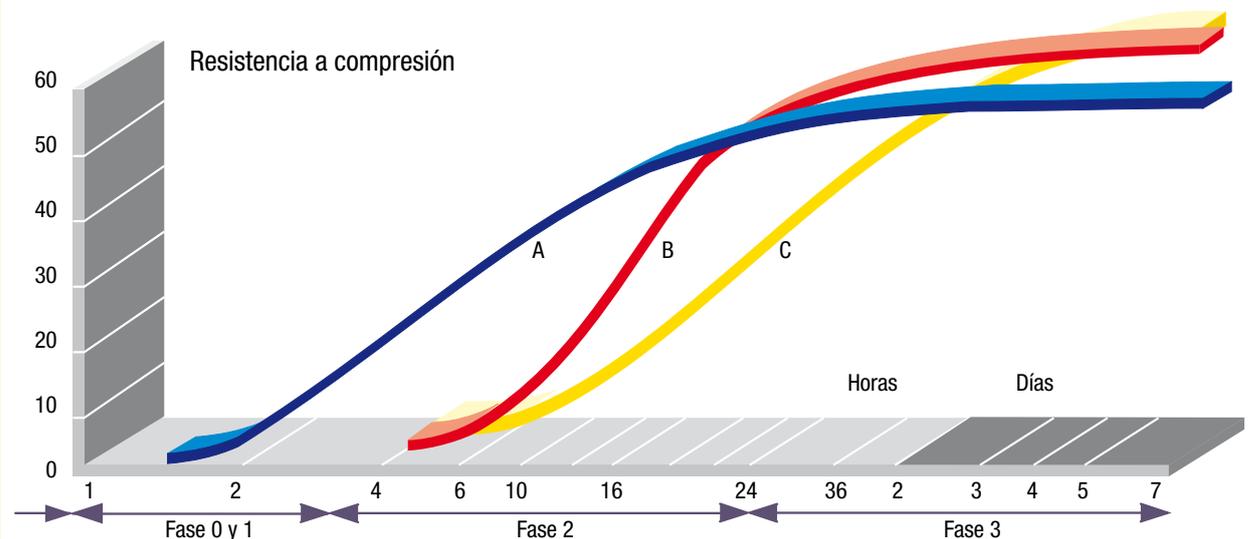


Gráfico No. 7: Fases del concreto en las que se puede influir para obtener mayor resistencia a temprana edad.

A: Trabajar en las fases 0-1: Acortando el inicio del fraguado.

B: Trabajar en las fases 2 y 3: Usando acelerantes de endurecimiento.

C: Trabajar en las fases 2 y 3: Curando apropiadamente para lograr una buena hidratación y excelente resistencia final.

También la selección del tipo de cemento influye en la labor de lograr altas resistencias iniciales en el concreto. Se puede partir del empleo de un cemento rápido, si se cuenta con él, o sino un cemento con muy poca adición puzolánica, y por el lado de la tecnología del concreto la cuestión se reduce a estas cuatro acciones, que brindan el mejor resultado cuando se practican simultáneamente:

- Reduzca el agua de amasado. Es la manera más económica de generar altas resistencias a todas las edades. Además va en pro de la densificación del concreto, es decir en pro de su resistencia al medio ambiente y su durabilidad.
- Trabaje con el menor asentamiento posible para el trabajo en cuestión. Si coloco, sin necesidad, un concreto fluido se alargará el fraguado en el tiempo que la mezcla requiera para perder manejabilidad.
- Acorte los fraguados. Esto se puede hacer de varias maneras, poniendo más cemento en la mezcla, calentando los componentes (arranco con una temperatura mayor), usando acelerantes de fraguado (aún hoy en día se usan aditivos que contienen cloruros, los cuales aceleran muy bien cualquier tipo de cemento, pero pueden causar problemas de corrosión), usando acelerantes de endurecimiento (aditivos de última tecnología, que incluso no acortan mucho el fraguado, permitiendo transportar y manipular la mezcla sin la presión de su endurecimiento).
- Genere un ambiente de curado propicio para la hidratación del cemento y el desarrollo de resistencia.



Foto No. 5 Empleo del concreto de alta resistencia inicial (Fast Track) para elaboración y rápida puesta en servicio de una vía.

## Concreto Autocompactante

Uno de los grandes desarrollos de comienzo de siglo, fue el paso de los concretos fluidos a los concretos autocompactantes (CAC) o autoconsolidantes. Son concretos preparados con los mismos materiales del concreto común, cuentan con una mayor proporción de finos y de pasta y fluyen por el encofrado, rodean el refuerzo sin segregarse y rellenan la sección sin necesidad de vibración.

Para poder producir estos concretos los aditivos tuvieron también que dar un gran salto adelante. Se tuvo que abandonar las melaminas, el naftaleno sulfonatado, incluso los aditivos con base vinílica e ingresar en el mundo de los aditivos producidos en laboratorios, donde la química molecular pasó a ser protagonista al producir los policarboxilatos modificados, aditivos que actuando químicamente sobre las partículas del cementante logran producir, además de la repulsión electroestática entre partículas ya conocida en los superplastificantes, un efecto llamado de repelencia estérica, donde las largas cadenas que se forman dispersan más el cementante y mantienen por más tiempo la consistencia hiperfluida sin afectar las propiedades del concreto.

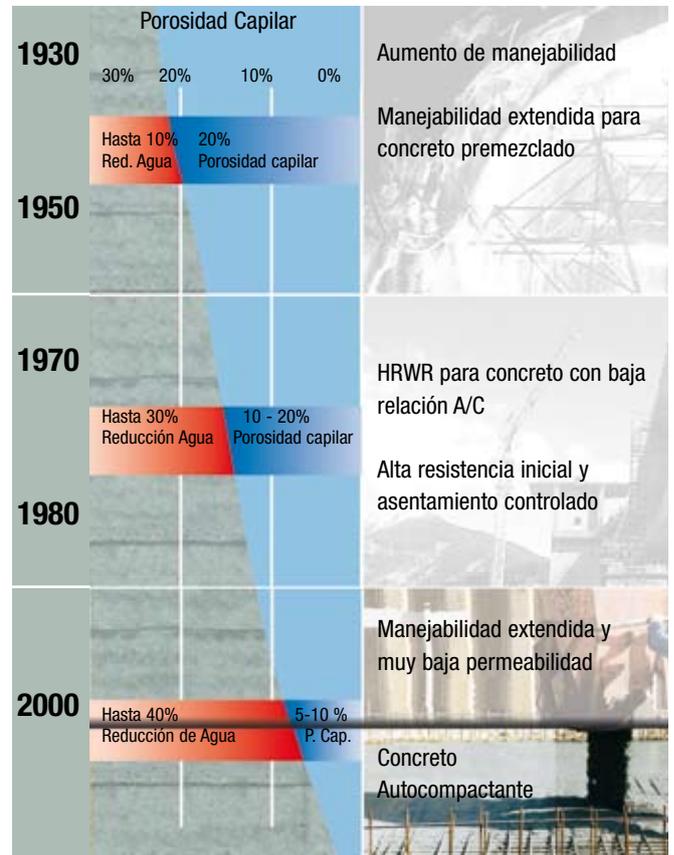


Gráfico No. 8: Desarrollo histórico de los aditivos plastificantes. Se muestra cómo paralelamente se han ido reduciendo los requerimientos de agua y la porosidad del concreto.

# El concreto de hoy

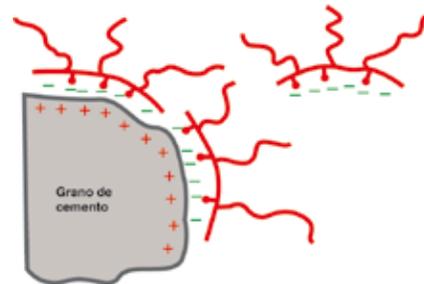
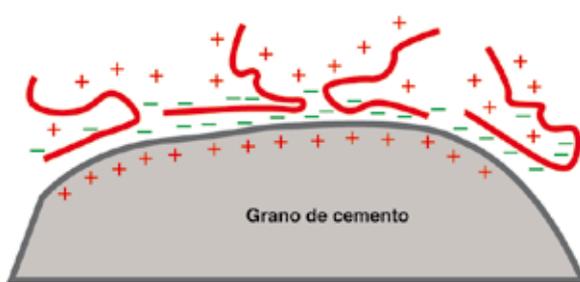


Gráfico No. 9: A la izquierda el efecto ya conocido en los superplastificantes de repulsión electrostática y a la derecha el nuevo efecto de repelencia estérica que mantiene la fluidez de la mezcla durante un largo tiempo sin retardar.

La producción de concreto autocompactante tiene algunos requisitos que cumplir para que el resultado no sea un fiasco.

- Excelente granulometría de los agregados grueso y fino y del conjunto, con presencia de todos los tamaños
- Contenido de finos (arena que pasa por el tamiz #100 + cemento + adiciones) mayor a  $350 \text{ kg/m}^3$ .
- Baja relación agua/cemento para que no se segregue la mezcla y fluya homogéneamente
- Un aditivo de última generación que permita que a pesar de la gran fluidez que se logre con él no haya segregación y, adicionalmente, que la mezcla permanezca por un tiempo considerable en condición de fluir y llenar los encofrados sin necesidad de vibración.
- El aditivo no debe causar retardos prolongados ni afectar el normal desarrollo de resistencias.

Los grandes requerimientos de pasta para elaborar los concretos autocompactantes hicieron temer por su futuro. Incrementar considerablemente el contenido de cemento los sacaba de mercado.

Felizmente la posibilidad de usar como llenante adiciones puzolánicas reactivas o no, vino a dar la mano a este tipo de concreto que seguramente se va a imponer en la construcción industrializada día a día.

Las ventajas más grandes del concreto autocompactante sobre los demás concretos se pueden resumir así:

- El concreto no requiere vibrado para consolidarse. Esto beneficia incluso la durabilidad de las formaletas actuales.
- Menor ruido en la obra. Mejora la calidad del ambiente de trabajo.
- Se puede colocar concreto hasta altas horas de la noche.
- Se reduce la mano de obra
- Se mejora el acabado de las estructuras al tener un concreto con más pasta.
- Los problemas que presentan las secciones densamente armadas para lograr una buena colocación y compactación se eliminan.

El concreto autocompactante es muy apropiado para los sistemas de construcción industrializada, para la elaboración de pisos y para labores de prefabricación.



Foto No. 6: Varios ejemplos de la utilización en la construcción del Concreto Autocompactante.

La medida de la manejabilidad del concreto autocompactante es distinta a la de los concretos convencionales. Se usa el cono de Abrams, pero se llena colocado al revés sobre una plataforma de medición. Se llena hasta el tope, no se compacta con varilla, y luego se sube lentamente el cono para dejar fluir la mezcla. La torta debe expandirse por lo menos 60cm. Se aprovecha la medida de la manejabilidad para hacer la inspección visual de la homogeneidad de la mezcla y la ausencia de segregación (fuga de lechada por los bordes de la torta) para dar por aceptado un diseño.



Foto No. 7: Medición del flujo de un concreto autocompactante. Nótese la homogeneidad de la mezcla.

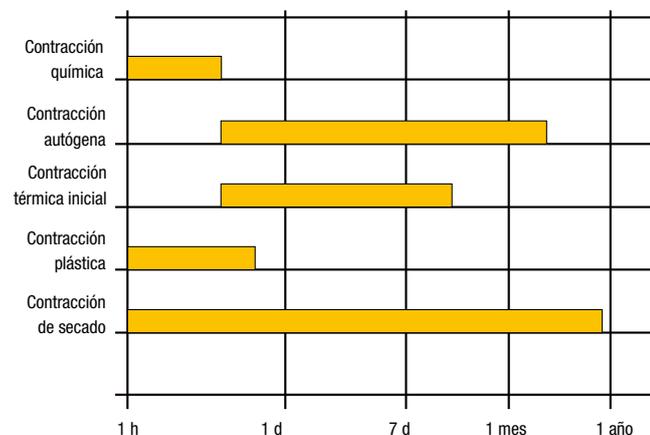
Otros métodos de evaluación de la calidad del concreto autocompactante para desempeñarse como tal en la obra son la caja en L, el Cono en V, además de otros que han ido apareciendo y que vienen a dar la mano al investigador para pulir sus diseños.

## La fisuración del concreto y su control

Una de las problemáticas más comunes de las obras, en particular de placas, andenes, vías y losas de puentes es el del agrietamiento del concreto. Hay varias causas del agrietamiento que conducen a grietas de diferente género y cuyo control también es distinto. Se puede distinguir entre los siguientes tipos de agrietamiento:

- Agrietamiento del concreto que aún no ha fraguado (en estado plástico)
- Agrietamiento del concreto por contracción térmica inicial (de fraguado)
- Agrietamiento del concreto en estado endurecido

El cuadro siguiente muestra el tiempo para el cual es común que aparezcan fisuras dependiendo del tipo de contracción que las cause:



“Durabilidad de Estructuras de Hormigón” del Grupo Español del Hormigón GEHO-CEB

Gráfico No. 10: Tiempo de aparición de las fisuras en el concreto

## Agrietamiento por contracción plástica

Es el tipo de grieta más común en las losas de concreto, se da por el desecamiento de la cáscara de la losa más expuesta a las condiciones del medio ambiente, en particular el viento y el sol. Estas grietas normalmente no penetran más de 3cm, sin embargo, una vez generadas, la losa puede acabar de romper por este sitio cuando empiece la contracción de secado.

Se evitan estas grietas estando pendientes del concreto en sus primeras 3-4 horas, si el clima es muy cálido o si hay mucho viento (o los dos) debe ponerse mucha atención al desecamiento prematuro del concreto.

Si la superficie cambia de brillante a mate debe aplicarse un riego fino de agua al concreto (nebulización) o aplicar con fumigadora un retardante de evaporación.

Estas grietas son difíciles de tratar sin que se vea la reparación. Por eso es mejor actuar contra este tipo de fisuramiento a tiempo. Estas grietas se presentan en el concreto antes de que el material tenga 1MPa de resistencia a compresión.



Foto No. 8: Agrietamiento por contracción plástica, que se hace más visible cuando la estructura se moja.

Una vez el técnico se da cuenta de que la losa se está fisurando, debido a las difíciles condiciones ambientales, debe de inmediato humedecerla y cerrar las fisuras. Esto puede hacerse ya que el concreto aún no ha fraguado. Las fotos siguientes muestran el procedimiento hecho incluso a mano.

# El concreto de hoy



Foto No. 9: Sello de grietas por retracción plástica antes de que el concreto fragüe.

El uso de fibras de polipropileno en la construcción de las losas, cuando se trabaja en condiciones ambientales difíciles (mucho



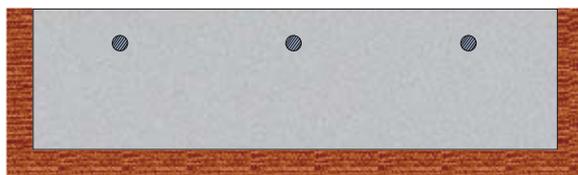
Foto No. 10: Concreto adicionado con fibras para la construcción de andenes y vías.

viento y/o mucho calor), en combinación con buenas prácticas de curado, ayuda en gran medida a controlar este tipo de agrietamiento, además de ser muy económico su uso.

## Agrietamiento por asentamiento plástico

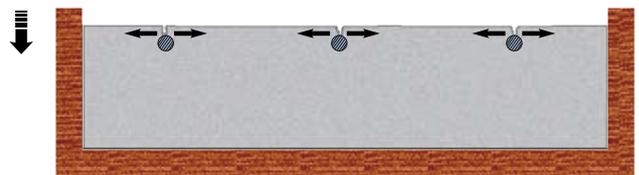
Un caso adicional de agrietamiento en estado plástico lo constituye el ocasionado por el asentamiento plástico de la mezcla, que no es otra cosa que el deseo de los componentes más pesados del

concreto de asentarse en un medio líquido. Por supuesto, como ya lo intuye el lector, este asentamiento plástico es más fuerte en concretos fluidos, especialmente cuando la fluidez se logró a punta de agua. En las siguientes figuras se esquematiza este fenómeno.



El concreto empieza a descender al asentarse en estado plástico.

Gráfico No. 11: Esquema del agrietamiento por asentamiento plástico del concreto.



Si se encuentra con el acero de refuerzo, en los puntos de contacto se generan tensiones que agrietan el concreto.

Por supuesto, una de las primeras acciones para evitar estas grietas, hoy en día muy comunes en losas de edificios, es hacer la mezcla más cohesiva, usar la menor manejabilidad requerida, trabajar con bajas relaciones agua/cemento y en especial dejar un buen recubrimiento sobre el refuerzo. La siguiente gráfica nos muestra la influencia de algunos de estos parámetros enunciados.

Probabilidad de agrietamiento									
Recubrimiento	Asentamiento = 5 cm			Asentamiento = 7,5 cm			Asentamiento = 10 cm		
	# 4	# 5	# 6	# 4	# 5	# 6	# 4	# 5	# 6
mm									
19,5	80.4	87.8	92.5	91.9	98.7	100	100	100	100
25,4	60	71	78.1	73	83.4	89.9	85.2	94.7	100
37,5	18.6	34.5	45.6	31.1	47.7	58.9	44.2	61.1	72
50,8	0	1.8	14.1	4.9	12.7	26.3	5.1	24.7	39

Gráfico No. 12: Influencia del asentamiento y del recubrimiento sobre el acero de refuerzo sobre la probabilidad de que se generen grietas por asentamiento plástico.

Como se ve en la tabla en la medida que el concreto sea más blando aumenta el riesgo de fisuración, pero el factor más importante es un defecto de recubrimiento sobre el acero.

## Grietas por contracción de secado

Una vez el concreto fragua el proceso de hidratación de la pasta de cemento continúa, el cemento requiere un 30% de su masa en agua para hidratarse completamente. Generalmente tenemos relaciones agua/cemento de 0,6 a 0,7 en el común de los concretos, esto significa de entrada que nos está sobrando entre 30 y 40% de agua. Cuando el concreto está en estado plástico, esta agua sobrante es la encargada de abastecer y recargar la superficie de una losa de concreto, por ejemplo, retardando, e incluso a veces impidiendo, el agrietamiento por contracción plástica. El problema es que al salir a la superficie genera una estructura porosa, de baja resistencia (a la abrasión por ejemplo), de alta permeabilidad, que hará que el concreto endurecido tenga muy pobre desempeño. Por esta razón es preferible hacer concreto con baja relación agua/cemento y dar agua desde el exterior para que la superficie no se agriete.

Una vez, decíamos, empieza el endurecimiento del concreto, y en la medida que el proceso de hidratación se va completando, el material empieza a perder el agua que no requiere. Este proceso conduce a la contracción de los elementos estructurales, contracción que debe su nombre a la pérdida de agua, es decir al secado.

Por supuesto entre más delgado sea el elemento más temprano y mayor volumen de agua perderá, como lo muestra la siguiente gráfica.

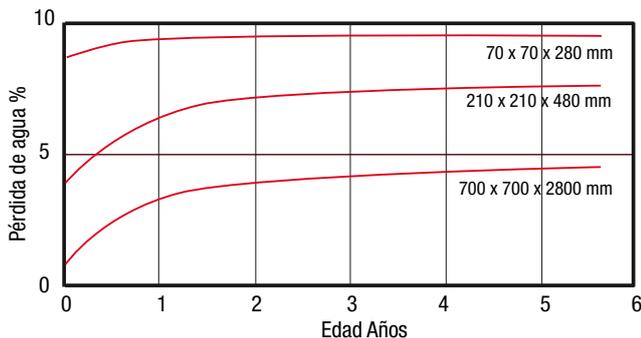


Gráfico No. 13: Influencia de las dimensiones del elemento sobre la pérdida de agua por secado

Es interesante ver en la gráfica anterior que la contracción por secado se prolonga hasta por varios años, y que en una losa de 20cm de espesor la contracción final se puede estar obteniendo a los dos años. Por esto no debe extrañarnos que las juntas de las bodegas se abran sin parar los primeros dos años, hasta que se estabilizan. Y este es uno de los principales problemas que tiene hoy en día la construcción de pisos industriales.

Sin embargo, las grietas por contracción de secado también son comunes en puentes, vigas descolgadas, box culverts, afortunadamente se reparten en toda la longitud haciendo que el ancho de fisura sea pequeño. Hay que anotar que desde el punto de vista de la durabilidad grietas de menos de 0,2 mm de ancho no ponen en peligro una estructura, pero grietas de cualquier ancho siempre constituirán un problema en estructuras hidráulicas y de contención de líquidos.

No es muy difícil entender que la contracción por secado se minimiza al reducir el agua de amasado, si hay poca agua libre para secar la contracción de secado se minimiza, el uso de aditivos reductores y super-reductores de agua colabora poderosamente en el control de esta contracción.

Por otra parte, el agrietamiento sucede porque el concreto no se puede contraer libremente. Generalmente existe algo que restringe el movimiento, a veces irremediablemente, como en el caso de las losas y las vigas amarradas a las columnas y muros que le impiden su libre contracción. Pero en muchos casos podemos liberar la losa y evitar el agrietamiento y sin embargo no lo hacemos.

La siguiente foto muestra el agrietamiento por contracción de secado de la losa de un puente metálico peatonal. Dos cosas inciden en este patrón de fisuramiento. La primera es que las juntas no están verdaderamente cortadas. Hay que recordar que para que funcionen como sitio donde se induce debilidad a la losa para que fisure controladamente, el corte debe penetrar por lo menos un tercio del espesor de la losa. La otra cosa importante es evitar amarrar lateralmente la losa a la estructura metálica, pues no la deja contraer libremente. Si a esto le sumamos que existen juntas de contracción ineficaces es fácil entender el agrietamiento.



Foto No. 11: Fisuramiento por contracción de secado en losa de puente peatonal.



Foto No. 12: Aparentemente existen juntas de dilatación/contracción en esta estructura, pero no trabajan debido a su escasa profundidad.

Las juntas deben cortarse a la profundidad requerida (mínimo 1/3 del espesor de la losa) y sellarse oportunamente con un sello muy flexible, preferiblemente de bajo módulo elástico.

El siguiente gráfico nos muestra el procedimiento de curado requerido en losas. Nótese que para un correcto curado de un elemento,

y dependiendo de las condiciones ambientales de la obra, puede requerirse usar varios métodos de curado en la misma estructura. Algunos técnicos insisten en comparar métodos de curado, pero no han caído en cuenta que el curado adecuado de una estructura, en muchos casos, requiere un “sistema” de curado que opere, el cual puede involucrar varios métodos de curado, so pena de fallar.

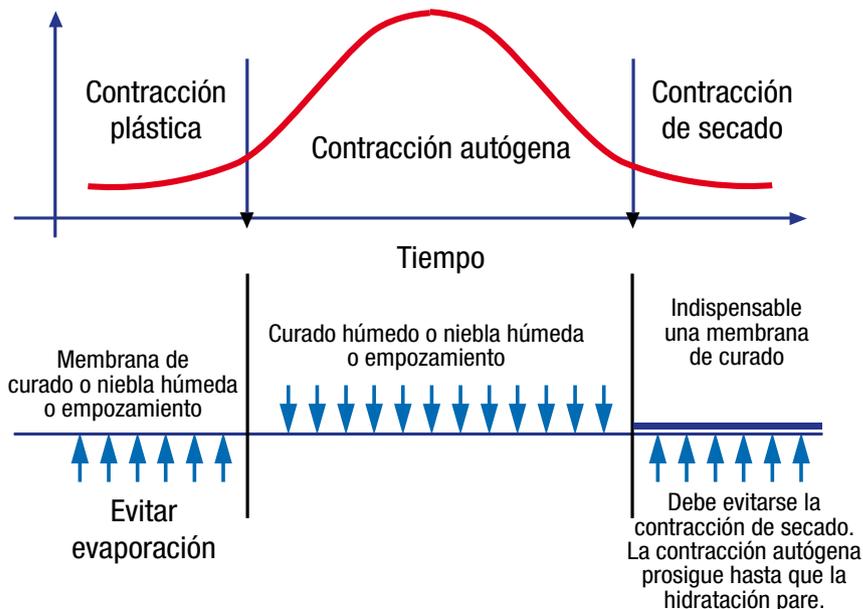


Figura No. 14: Esquema de curado de una estructura para ir controlando cada una de las contracciones del concreto o minimizando su efecto sobre la fisuración. Aitcin, P.C., Integrated view of shrinkage deformation Concrete International, sep. 1997.

### Contracción térmica inicial (de fraguado)

Se conoce este agrietamiento como contracción térmica inicial, para diferenciarlo de los sucesivos agrietamientos que pueden experimentar algunos elementos estructurales, en particular aquellos laminares, debido a los cambios permanentes de dimensiones (dilatación/contracción) producto de los cambios de temperatura durante su exposición al medio ambiente en servicio, Algunas veces tenemos que vérnoslas con estructuras de gran tamaño, cimentaciones, pilas, grandes vigas para puentes, bases para grandes equipos en la industria, etc. El concreto, cuando las dimensiones de los elementos son mayores, acumula el calor de hidratación, pudiéndose medir temperaturas hasta de 60°C en su

interior o más, y, especialmente, cuando el medio ambiente es frío, se crea un gradiente de temperatura entre el interior caliente y la superficie a baja temperatura. Este gradiente conduce a tensiones que fisuran el elemento.

La literatura habla de gradiente máximo de temperatura permisible para evitar grietas por contracción térmica de 20°C para agregado silíceo y de 60°C para agregado calizo. Es por esta razón que la mayoría de las especificaciones de concretos donde puede haber problemas debidos al fuego (industria petrolera por ejemplo) incluyen agregado calizo en su composición.

Foto No. 13: Cimentación fracturada probablemente por contracción térmica inicial, ya que se descartó punzonamiento.



Aunque sólo se pone atención a estructuras de gran volumen (espesores mayores a 60 cm se lee en algunas publicaciones), o mejor cuando la relación área/volumen es muy pequeña, muchos elementos pueden sufrir de este tipo de fisuramiento aunque tengan proporciones más modestas. Depende en estos casos de las condiciones ambientales que pueden hacer aumentar el riesgo de choque térmico.

La foto siguiente muestra una grieta de contracción térmica en una columna. El concreto estando aún en la formaleta metálica, recibe por una de sus caras el sol de la tarde, se produce un incremento de temperatura del concreto, y al desencofrar se genera un choque térmico que fisura el elemento. Hay que anotar que las grietas de contracción térmica inicial son grietas inactivas y pueden ser inyectadas con resinas.



Foto No. 14: Fisuramiento de columna debido al choque térmico.

Algunas reglas sencillas para evitar agrietamiento por contracción de fraguado:

- Lo primero es darse cuenta, al momento de diseñar la estructura, que va a haber posibles concretos masivos en la obra.
- Trate de que el concreto al colocarlo tenga la menor temperatura posible (esto a veces riñe con la economía del proyecto)
- Proteja del sol y de su calentamiento los agregados ya que es el volumen de material más grande de la mezcla. Toldos y riego con agua helada pueden ayudar a bajar mucho la temperatura de la mezcla.
- Use agua helada para mezclar el concreto. Una piscina o tanque lleno con bloques de hielo generalmente es el elemento más económico para contar con agua helada para la mezcla.
- Trate de hacer atemperar el cemento. Muchas pipas traen cemento a muy altas temperaturas. Ensílelo y déjelo enfriar. Pinte los silos de blanco para que el sol no eleve la temperatura del cemento.
- Haga bloques de prueba (1 m<sup>3</sup>) instale termopares y determine la temperatura máxima (pico) a la que va a llegar ese diseño.
- Use adiciones puzolánicas en reemplazo del cemento, el pico de temperatura será menor.
- No especifique resistencias muy altas a muy corta edad. Esto va en contra de la lucha contra el calor de hidratación. Si la obra va a tomar meses antes de entrar en servicio, especifique la resistencia a 56 o 90 días.
- Use reductores de agua retardadores, podrá reducir cemento para igual resistencia y el retardo reducirá el pico de temperatura algunos grados.

- Si el medio es muy frío cobije la estructura, cree un microambiente donde las diferencias de temperatura entre el interior del concreto y el ambiente que lo rodea sean muy bajas.
- No cure con agua fría, sólo conseguirá aumentar el riesgo de fisuras.

## La durabilidad de las estructuras

Finalmente queremos referirnos muy sucintamente a la durabilidad de las estructuras de concreto reforzado. Es verdad que el uso extendido del concreto se debe a su gran resistencia a la intemperie, contrario a lo que le sucede al metal y a la madera. Sin embargo miles de estructuras que muestran además de los signos del envejecimiento normal, señales de deterioro por su baja resistencia al medio que las rodea, hace que hoy, más que nunca, debamos poner muchísima atención a las medidas necesarias para elaborar estructuras que vivan largamente sin requerir intervenciones a menudo molestas y costosas.

Hay que empezar diciendo que el concreto es un material con cierta porosidad. Más de la mitad del agua de amasado la colocamos en la mezcla sólo por razones de manejabilidad de la mezcla y por facilidad de colocación y compactación. El agua, al secarse el concreto, va dejando poros capilares interconectados y otro tipo de porosidad, que harán muy fácil el ingreso de los contaminantes presentes en el medio, o la penetración de líquidos, y en el caso de tanques y piscinas la salida del agua.

En la medida que un concreto intercambie, con mucha facilidad, productos con el medio ambiente, más rápido se deteriorará. Un concreto denso y sin fisuras, por el contrario, resistirá por muchos años el embate agresivo del medio.



Foto No. 15: Rodaja de concreto convencional donde se puede apreciar la porosidad a simple vista.

Esto nos indica que una primera medida de protección de las estructuras es la reducción del agua de amasado y su reemplazo por un aditivo plastificante o superplastificante. El incremento en el costo es realmente mínimo comparado con las bondades de la reducción de agua.

A menor cantidad de agua de amasado, menor exudación, menor cantidad de poros capilares, menor permeabilidad, mayor densidad, menor intercambio con el ambiente tanto de gases como de líquidos. Adicionalmente la resistencia mecánica a todas las edades será superior, la contracción de secado será menor así como la tendencia a agrietarse. Sin embargo y desafortunadamente para las estructuras hay muchos que no emplean un reductor de agua por desconocimiento de cómo funciona y qué beneficios trae.

El gráfico que se muestra a continuación muestra el efecto de la reducción de agua sobre la disminución de la porosidad. Este efecto se conoce hace más de un siglo y aún es desconocido por algunos constructores, perdiendo la estructura la posibilidad más económica de ver mejorado su concreto.

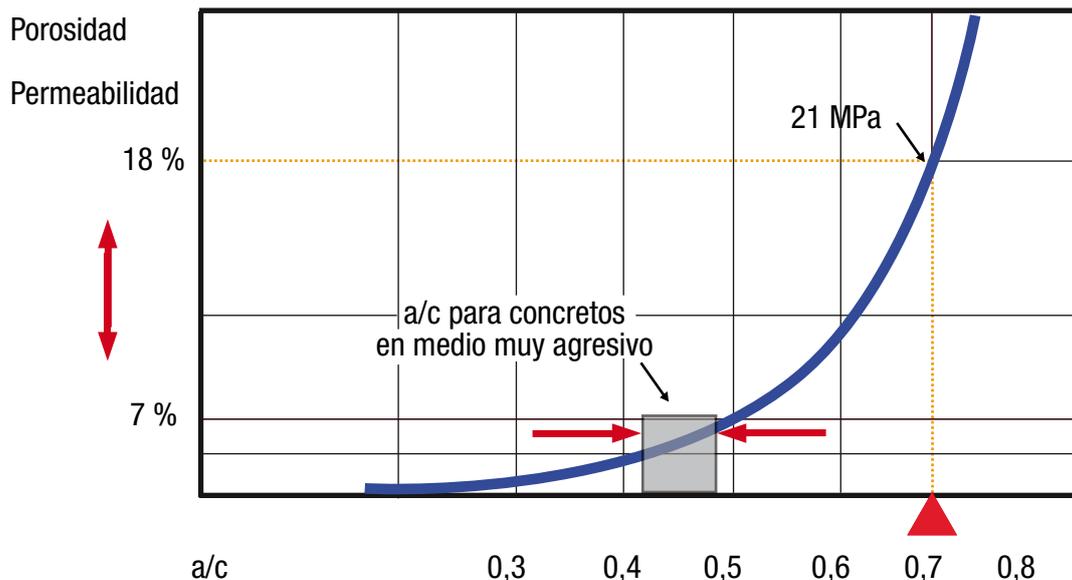


Gráfico No. 15: Relación entre relación agua-cemento y la porosidad y permeabilidad del concreto.

Nótese en el gráfico anterior que para la resistencia más usada en nuestro medio (21 MPa) la porosidad del concreto es bastante alta. También podemos darnos cuenta, cómo el reducir de 0,7 a 0,6 la relación agua/cemento se produce una disminución importante en la porosidad, para no hablar de los niveles que se obtienen cuando se llega a valores entre 0,4 y 0,5 de relación agua/cemento, lo que explica por qué en la normativa estas relaciones son las que se especifican para los ambientes más agresivos, por ejemplo para ambientes marinos.

Esta información debe servirnos para generar espontáneamente especificaciones de concreto de mejor calidad. Son útiles en muchos casos, por ejemplo: para estructuras de concreto a la vista, para estructuras subterráneas, para tanques y piscinas, para pisos industriales.

Una menor porosidad es útil en medio marino en la medida que la sal no puede penetrar ya que solo lo puede hacer disuelta en el agua que permea la estructura. En medios urbanos contaminados como los de nuestras grandes ciudades, una menor porosidad indicará una mejor resistencia al ataque del CO<sub>2</sub> que causa la carbonatación del concreto y la corrosión del refuerzo.

Paralelamente el uso de adiciones puzolánicas reactivas (ceniza volante, escoria de alto horno, microsílca, etc) es de gran ayuda para controlar ataques que son frecuentes en nuestro medio, a saber:

- Ataque por ingreso de cloruros. La reacción puzolánica disminuye la absorción capilar del concreto, reduciendo así la permeabilidad del concreto a estas sales.
- Ataque de sulfatos. La labor de la puzolana al fijar el hidróxido de calcio hace menor la posibilidad de que se forme etringita, la cual causa el agrietamiento típico de este ataque.
- Expansión por reactividad álcali-agregado. Colombia tiene muchas zonas de agregado potencialmente reactivo, La escasez de agregados hace que se aumente el riesgo de su empleo para elaborar concreto. El uso de adiciones puzolánicas reduce el riesgo de este ataque al reducir la alcalinidad normal del concreto.
- Incluso, aunque no es un ataque del exterior, el uso de adiciones reduce el calor de hidratación de las mezclas, lo que viene a contribuir con menor posibilidad de agrietamiento por contracción térmica inicial (de fraguado)

Sólo para el ataque de la carbonatación, es inconveniente usar cuantías muy grandes de adición. Tiene la ventaja este ataque, sobre el de cloruros, que para que haya corrosión no sólo debe haber despasivación del refuerzo por carbonatación sino, además, suficiente humedad disponible para causar corrosión y afortunadamente este no es el caso de la mayoría de estructuras. Sin embargo en obras de infraestructura importantes, obras de concreto a la vista, puede ser necesario modificar las especificaciones del concreto para asegurar una larga vida en servicio sin rehabilitaciones.

Entre las medidas apropiadas se cuentan:

- Reducir la relación agua/cemento a valores por lo menos de 0,5.
- Incrementar la cuantía de cemento Portland
- Incrementar la cuantía de cemento en la mezcla, esto irá de la mano con la siguiente recomendación.
- Especificar resistencias mayores, aunque el diseño estructural no las requiera.
- Curar por lo menos tres días con agua y luego implementar otro sistema de curado si no es posible continuar curando hasta los 15 días con agua (plásticos, membranas de curado, yute humedecido, etc).
- Importantísimo que la relación agua/cementante y la resistencia a mínima a compresión concuerden. Ya que se ve a menudo especificaciones donde la relación agua /cemento es 0,45, por ejemplo, y la resistencia que piden es 21 Mpa cuando debería ser por lo menos de 31,5 Mpa.

Con respecto al uso de cloruros en los acelerantes para el concreto de alta resistencia inicial es conveniente decir tres cosas. Primero que a las dosis usadas generalmente se cumple con el contenido máximo de cloruro soluble en agua (libre) que trae la NSR-98 en el capítulo de durabilidad (C-4) para distintos ambientes. Segundo, que generalmente se usan aditivos con cloruro en climas fríos, donde es preciso darle una mano al

concreto en la generación de resistencia inicial, cosa que no sucede en medios marinos por ejemplo, donde acelerar el concreto sería un suicidio, ya que la mezcla no llegaría a la obra en condiciones de ser vaciada. Esto implica, entonces, que sólo se usen en sitios donde no hay posibilidad de recarga de cloruros provenientes del medio ambiente, con lo cual el riesgo de corrosión no es grande.

Y finalmente, que es cuestión de que el constructor exija, para su obra, concretos sin cloruros en la medida que todas las concreteras agremiadas disponen en sus formulaciones de concretos de este tipo. Sólo, deben saber el constructor y el especificador, que el costo es un poco mayor en razón a que las sustancias, diferentes a los cloruros, que aceleran la ganancia de resistencia, tienen un costo sensiblemente mayor.

Para terminar, es preciso que la ingeniería, la arquitectura y todas las carreras afines a la construcción vuelvan de nuevo sus ojos a los materiales. El concreto, tal como se conoce hoy en día es muy distinto al de hace 10 o 20 años. Hay que entenderlo, pues algunos cambios llegaron para quedarse. No podemos seguir sub-especificados en el material, muchas obras requieren un concreto especial, que no el más caro, pero distinto al de uso común. Pero hay que hacérselo saber al fabricante, ya que él no es adivino. Sólo en la medida que entendamos esta regla de oro para las estructuras estas gozarán de una larga vida útil en servicio.



# Sika Informaciones Técnicas

## El concreto de hoy



La información, y, en particular, las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika, son proporcionadas de buena fe y se basan en el conocimiento y experiencias actuales de Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de la obra son tan particulares que ninguna garantía respecto a la comercialización o a la adaptación para un uso particular, o a alguna obligación que surja de relaciones legales, puede ser inferida de la información contenida en este documento o de otra recomendación escrita o verbal. Se deben respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho.

Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de las Hojas Técnicas, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.

### Sika Colombia S.A.

#### BARRANQUILLA

Calle 30 No. 1 - 25  
Centro Ind. Barranquilla  
Tels.: (5) 3344932 / 34  
Fax: (5) 3344953  
E-mail: [barranquilla.ventas@co.sika.com](mailto:barranquilla.ventas@co.sika.com)  
com

#### EJE CAFETERO

Carrera 2 Norte No. 9-156  
Bodega No. 16  
Dosquebradas - Risaralda  
Tel: (6) 3327020 / 40 / 60  
Fax: (6) 3222729  
E-mail: [pereira.ventas@co.sika.com](mailto:pereira.ventas@co.sika.com)

#### TOCANCIPA

Vereda Canavita Km. 20.5 - Autopista Norte  
PBX: (1) 878 6333  
Fax: (1) 878 6660  
Tocancipá - Cundinamarca  
E-mail: [oriente.ventas@co.sika.com](mailto:oriente.ventas@co.sika.com), bogota.  
[ventas@co.sika.com](mailto:ventas@co.sika.com)

#### CALI

Calle 13 No. 72 - 14  
Centro Comercial Plaza 72  
Tels.: (2) 3302171 / 62 / 63 / 70  
Fax: (2) 3305789  
E-mail: [cali.ventas@co.sika.com](mailto:cali.ventas@co.sika.com)

#### MEDELLIN

Km. 34 Autopista Medellín - Bogotá -  
Rionegro  
PBX: (4) 5301060  
Fax: (4) 5301034  
E-mail: [medellin.ventas@co.sika.com](mailto:medellin.ventas@co.sika.com)

#### CARTAGENA

Albornoz - Vía Mamonal  
Carrera 56 No. 3 - 46  
Tel.: (5) 6672216 - 6672044  
Fax: (5) 6672042  
E-mail: [cartagena.ventas@co.sika.com](mailto:cartagena.ventas@co.sika.com)

#### SANTANDERES

Kilómetro 7 - Vía a Girón  
Bucaramanga - Santander  
PBX: (7) 646 0020  
Fax: (7) 646 9000  
E-mail: [santander.ventas@co.sika.com](mailto:santander.ventas@co.sika.com)

**web: [col.sika.com](http://col.sika.com) - e-mail: [sika\\_colombia@co.sika.com](mailto:sika_colombia@co.sika.com)**

